

文章编号: 1006-9941(2014)06-0845-03

# 颗粒模压发射药装药的点传火性能

焦旭英, 杜江媛, 张玉成, 贾永杰

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 以粒状高能硝胺发射药为基础药, 经过表面钝感、包覆、模压处理, 制备颗粒模压发射药。设计底部结构和传火管结构两种点传火结构方案, 利用 30 mm 高压模拟火炮, 研究颗粒模压发射药装药的点传火性能。结果表明, 与底部结构相比, 传火管结构将颗粒模压发射药装药的点火延迟时间缩短 15.2%, 膛内最大负压差降低 8.41 MPa, 装药床受到的最大挤压力减小 11.93 MPa。传火管结构方案使颗粒模压发射药装药具有良好的点传火性能。

**关键词:** 应用化学; 颗粒模压发射药; 点传火**中图分类号:** TJ55; O69**文献标志码:** A**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2014.06.025

## 1 引言

现代战争对武器的炮口动能提出了更高的要求。高装填密度发射装药技术已经成为解决武器高炮口动能问题的有效途径之一<sup>[1]</sup>。国内外对高装填密度发射装药技术的研究工作开展较早, 并取得了一定的成果<sup>[2]</sup>。美国 105 mm 火炮 M68 装药采用了密实球形药, 火炮初速提高了 50~60 m·s<sup>-1</sup><sup>[2]</sup>。南理工对双基、太根、硝胺等发射药进行了球扁化, 利用主装药与球扁药的药型匹配技术, 在 100H 火炮上实现了高装填密度<sup>[3]</sup>。颗粒密实模块药具有较强的燃烧渐增性和高密度特性<sup>[4-5]</sup>, 能够在最大膛压不变的条件下实现装药量增多, 满足了现代战争对武器高炮口动能的需求<sup>[6]</sup>。

颗粒模压发射药是以粒状高能硝胺药为基础药, 结合表面钝感、包覆处理等工艺, 采用密实化模压技术, 提高发射药装药的装填密度。其药柱压实密度能达到 1.2 g·cm<sup>-3</sup>, 进行高装填密度发射装药弹道试验时, 由于装药室自由空间小、装药床透气性低, 会导致点传火通道变窄, 阻碍火焰的正常传播, 从而降低了传火速度、延长了传火时间, 点传火性能的恶化会产生较大的膛内压力波。因此, 颗粒模压发射药装药的点

传火性能直接影响高装填密度发射装药系统的稳定性、安全性。

目前, 关于颗粒模压发射药的研究还集中于药柱的密度和基药的表面处理方法对其静态燃烧性能的影响<sup>[4-5]</sup>, 而颗粒模压发射药装药的点传火性能研究开展较少。本研究设计了两种点传火结构方案, 对颗粒模压发射药装药进行弹道实验, 通过对比两种点传火结构方案的点传火性能, 探索出适合颗粒模压发射药装药的点传火系统, 开展颗粒模压发射药装药的点传火性能研究。

## 2 实验部分

### 2.1 颗粒模压发射药制备

首先, 制备粒状高能硝胺发射药 RGD7A 为基药, 堆积密度为 0.95 g·cm<sup>-3</sup>。然后, 称取一定量的基药, 用高分子钝感剂 A 进行钝感, 钝感剂的质量分数为 3%。再用非挥发性溶剂将含能黏结剂 B 完全溶解, 均匀涂覆在基药表面上, 黏结剂的质量分数为 2%。最后, 在特制模具中将涂覆好的药粒压成一定形状, 经处理后得到颗粒模压发射药样品, 药柱的压实密度达到 1.25 g·cm<sup>-3</sup>。

### 2.2 点传火方案设计

针对颗粒模压发射药装药, 设计了两种点传火方案。一种是底部结构, 即将点火药包放置于装药床底部, 接近底火, 如图 1a 所示。一种是传火管结构, 即在装药床轴向方向放置金属中心传火管、顶端放置圆片点火药包, 如图 1b 所示。

收稿日期: 2013-10-29; 修回日期: 2014-02-23

作者简介: 焦旭英(1987-), 女, 助理工程师, 主要从事发射药技术研究。e-mail: jiaoxuying1987@163.com

通信联系人: 杜江媛(1984-), 女, 工程师, 主要从事发射药技术研究。e-mail: dujiangyuan@eyou.com

对于传火管结构方案,金属中心传火管管长 120 mm,管内径 5 mm,传火孔呈螺旋式分布,首孔高度 30 mm,传火孔直径 3 mm,传火孔面积  $70.68 \text{ mm}^2$ ,并采用一种新型的点火药装填方式。首先将点火药封装于硝基软片管中,然后将硝基软片管置入金属中心传火管内,最后用硝基软片对金属中心传火管顶端进行密封。利用点传火模拟试验系统<sup>[7]</sup>测量该装填方式下金属中心传火管的传火速度为  $214 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

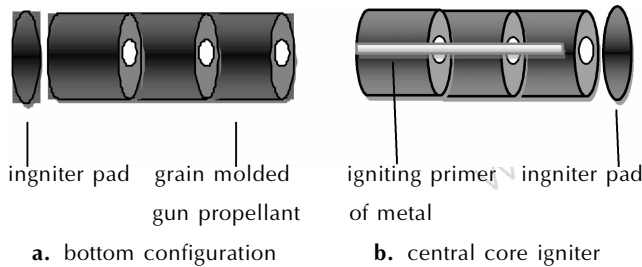


图1 两种点传火方案示意图

Fig.1 Sketchmap of two ignition schemes for grain-molded gun propellant charge

### 2.3 弹道试验

弹道试验采用 30 mm 口径的高压模拟火炮。弹丸质量为 203 g,火炮身管为滑膛结构,弹丸行程长 1.66 m,药室容积  $0.335 \text{ dm}^3$ 。用靶线法测试弹丸距炮口 10 m 处的速度,用压力传感器电测膛底与弹底的压力曲线,在对应的时间上描绘出膛底与弹底压力差的变化曲线。

设计了以下三种实验方案并进行内弹道试验,条件如表 1 所示,每种方案进行三发平行试验,试验结果取平均值。

表1 3种内弹道实验方案

Table 1 Interior ballistic test condition

test	propellant	charge amount /g	loading density / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	ignition scheme
1	base propellant	180	0.54	bottom configuration
2	grain-molded propellant	318	0.95	bottom configuration
3	grain-molded propellant	318	0.95	central core igniter

## 3 结果与讨论

### 3.1 装药的安全性

装药和点传火的结构会引起一定强度的压力波,高装填密度发射装药结构的合理性评价中,点传火结构对压力波的敏感程度是重要的一方面,负压差是衡量装药发射安全性的主要指标。一般认为,负压差不

超过 35 MPa 的发射装药是安全的<sup>[2]</sup>。表 2 为三次内弹道试验的平均结果。

表2 三次内弹道实验的平均结果

Table 2 Results of three propellant in ballistic test (average)

test	$\Delta p/\text{MPa}$	$v_0/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
1	26.0	1316
2	17.87	1424
3	9.46	1461

Note:  $\Delta p$  is the negative pressure difference of grain-molded gun propellant charge.  $v_0$  is the velocity of projectile.

从表 2 可以看出,基药负压差没有超过 35 MPa,说明火炮状态良好。与基药相比,颗粒模压发射药装药的负压差均低于 20 MPa,表明两种点传火结构都可以保证颗粒模压发射药装药的安全性。

### 3.2 点传火性能

对于一个良好的点传火系统,点火延迟时间越短,说明装药能够及早地被点燃,传火时间短,点传火同时性、一致性好。本研究以底火触发开始到发射药床内压力达到最大膛压值的 10% 作为点火延迟时间。图 2 为两种点传火结构的压力和压力差曲线,图中,  $p_b$  代表膛底压力、 $p_m$  代表弹底压力,  $\Delta p_i$  代表膛底与弹底的压力差。

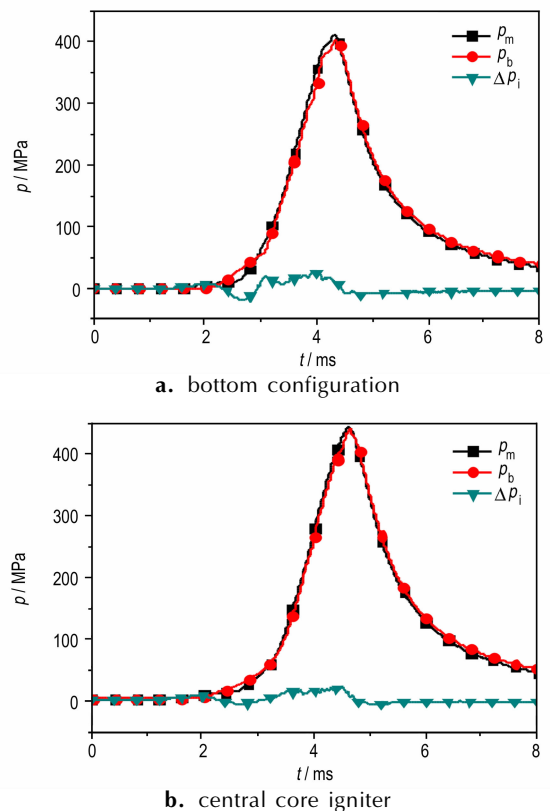


图2 两种点传火结构的  $p-t$ 、 $\Delta p-t$   
Fig.2  $p-t$  and  $\Delta p-t$  curves of grain-molded gun propellant charge

分析图 2a、图 2b 的膛压曲线,发现两种点传火结构的点火延迟时间分别为 1.71 ms(图 2a)、1.45 ms(图 2b),相差 15.2%,表明采用传火管结构时颗粒模压发射药装药的点火延迟时间短,点传火一致性好。

通常以膛底和弹底压力差曲线的最大负压差 $-\Delta p_i$ 作为衡量点传火稳定性的指标。图 2 两种点传火结构的 $-\Delta p_i$ 别为 $-17.87$  MPa(图 2a)、 $-9.46$  MPa(图 2b),均小于 35 MPa,表明两种点传火结构的点火性能稳定、无异常。相比于底部结构,金属中心传火管的轴向传火作用强,可以利用结构参数合理地控制点火压力,且传火管结构方案中放置于装药床顶端的点火药可以加快速点燃离底火最远的装药,使颗粒模压发射药装药在燃烧过程中产生了较小的膛内压力波, $-\Delta p_i$ 低了 8.41 MPa。因此,传火管结构的点传火稳定性优于底部结构。

压力差曲线上的正压差反映了装药床受到的挤压力大小。对于一个良好的点传火系统,希望药床所受的挤压力小,即最大正压力差 $+\Delta p_i$ 小。图 2 中的 $+\Delta p_i$ 值分别为 27.55 MPa(图 2a)、15.62 MPa(图 2b),由于传火管结构的 $+\Delta p_i$ 值比底部结构小 11.93 MPa,因此传火管结构使颗粒模压发射药装药在高装填密度装药条件下受到的最大挤压力减小,药床的振荡几率得到有效降低,点传火安全性得到明显提高。

对于底部结构,点火药受底火的引燃,在热交换、热辐射作用下,首先点燃其周围的发射药,并通过发射药间隙进一步引燃其他发射药,因此,底部点火所提供的激励导致了装药的不均匀点火,点火延迟时间长、点火一致性差。对于传火管结构,金属中心传火管在装药床轴向方向占有大部分比例,装药床透气性好,受底火激励,传火管内达到破孔压力后,几毫秒之内全部的传火孔打开,装药床轴向高度上的大部分发射药迅速被点燃,较强的轴向传火能力对装药进行同时、全面的点火,减小了由于点火过程的时间差和传火过程热量差而造成的气体生成率的差别、压力增长率的差别及装药的宏观渗透性的影响等因素所产生压力波的可能

性,点传火一致性得到提高。因此,对于颗粒模压发射药装药,传火管结构方案的点传火性能优于底部结构方案。

#### 4 结 论

(1) 两种点传火结构的负压差分别为 $-17.87$  MPa、 $-9.46$  MPa,均不超过 35 MPa,保证了颗粒模压发射药装药的点传火系统的安全性。

(2) 与底部结构相比,传火管结构方案将颗粒模压发射药装药的点火延迟时间缩短了 15.2%,最大负压差降低了 8.41 MPa,装药床受到的挤压力减小了 11.93 MPa,该点传火方案的点火一致性、稳定性、安全性好,颗粒模压发射药装药的点传火性良好。

#### 参考文献:

- [1] 金志明,翁春生. 高等内弹道学[M]. 北京: 高等教育出版社,2003.
- [2] 王泽山,徐复铭. 火药装药设计原理[M]. 北京: 兵器工业出版社,1995.
- [3] 肖正刚,周伟良,应三九,等. 球扁药应用于大口径火炮高装填密度发射药[J]. 火炸药学报,1999,36(4): 36-45.  
XIAO Zheng-gang, ZHOU Wei-liang, YING San-jiu, et al. The application of oblate spherical powder to high loading density gun propellant charge[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*,1999,36(4): 36-45.
- [4] 梁勇,姚月娟,杨建,等. 颗粒密实模块药的弹道性能[J]. 火炸药学报,2010,33(3): 51-54.  
LIANG Yong, YAO Yue-juan, YANG Jian, et al. Ballistics performance of gun propellant grain compressed modular[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*,2010,33(3): 51-54.
- [5] 姚月娟,刘少武,王琼林,等. 颗粒模压发射药的燃烧性能[J]. 含能材料,2012,20(3): 76-79.  
YAO Yue-juan, LIU Shao-wu, WANG Qiong-lin, et al. Burning performance of grain-molded propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*,2012,20(3): 76-79.
- [6] 沈瑞琪,戴实之,叶迎华,等. 炮用点火系统的内弹道点火性能评价[J]. 火工品,1996(3): 1-6.  
SHEN Rui-qi, DAI Shi-zhi, YE Ying-hua, et al. Ballistics judgment of ignition system of gun[J]. *Initiator and pyrotechnics*,1996(3): 1-6.
- [7] 焦旭英,张玉成,杜江媛,等. 大长径比点传火管的点传火性能[J]. 火炸药学报,2013,36(1): 78-81.  
JIAO Xu-ying, ZHANG Yu-cheng, DU Jiang-yuan, et al. Flame propagation characteristics of igniter in large ratio[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*,2013,36(1): 78-81.

### Ignition Performance of Grain-molded Gun Propellant Charge

JIAO Xu-ying, DU Jiang-yuan, ZHANG Yu-cheng, JIA Yong-jie

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** Grain-molded gun propellant was prepared based on nitramine propellant by surface-detering, surface-coating, and grain-molding. Two ignition schemes including bottom configuration and central core igniter were designed. Results show that compared with the bottom configuration, ignition delay time shortens 15.2% and the maximum negative pressure difference decreases 8.41 MPa of central core igniter, and the maximum extrusion process of the propellant decreases 11.93 MPa, which indicate that central core igniter scheme can bring perfect ignition performance for grain-molded gun propellant charge.

**Key words:** applied chemistry; grain-molded propellant; ignition and flame propagation

**CLC number:** TJ55; O69

**Document code:** A

**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2014.06.025